



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO
AMBIENTAL

**ESTUDO DO ASSOREAMENTO POR MEIO DE ANÁLISE
MULTITEMPORAL BATIMÉTRICA E DE USO E OCUPAÇÃO DO
SOLO NA SUB-BACIA DO BANANAL – BACIA DO LAGO PARANOÁ -
DF**

Marcelo Ribeiro Ferreira Aguiar

Orientador: Henrique Llacer Roig

Co-Orientador: Paulo Henrique Bretanha Junker Menezes

MONOGRAFIA DE CONCLUSÃO DE CURSO DE ESPECIALIZAÇÃO

BRASÍLIA

2012

AGRADECIMENTOS

Eu agradeço primeiramente a deus que tem me dado força e sempre presente no meu caminho.

Agradeço a minha família, minha mãe que sempre me apoiou, orientou e acreditou no meu potencial. Posteriormente eu agradeço ao meu pai, em memória, pois sem ele eu não seria metade do homem que eu sou. A minha madrinha que me auxiliou em todo o percurso de aprendizagem e juntamente a

Todos os amigos que fiz na especialização (Carlos,, Erivan, Marco, Felipe, Carlos maia, Eluzai, Serjão, Klebão, Samuel, Leonardo, Melina, Omolabake, Ana Luiza, Mário e Bruno).

A todos os amigos de toda essa caminhada.

Ao PH, que me ajudou e orientou aos 45 minutos do segundo tempo. Agradeço à ESRI, ao IG/UnB e laboratório e aos profissionais que me ajudaram a fazer esse projeto acontecer.

Ao meu orientador Henrique Roig, que acreditou e me apoiou nas minhas decisões e pelas orientações.

RESUMO

O grande crescimento populacional e o consequente uso e ocupação desordenada do solo refletem em inúmeros problemas ambientais, como o assoreamento de reservatórios de água em bacias hidrográficas. Mesmo sendo produto de processos geológicos naturais, o assoreamento pode ser potencializado por atividades humanas. Este estudo busca avaliar o processo de assoreamento na região da Sub-bacia do Bananal, tributário do Lago Paranoá usando técnicas de geoprocessamento. Foi realizada análise multitemporal do uso e ocupação na região da bacia entre os anos de 1953 e 2009, por meio de mapas gerados com imagens de satélite e fotos aéreas. Também foi avaliada a evolução do assoreamento por meio de análises comparativas de interpolação utilizando o modelo *SPLINE* em diferentes períodos. Com o cálculo da espessura do sedimento do solo em relação ao uso e ocupação, foi possível observar um assoreamento mais significativo num primeiro período (1953 à 1984), superior à 42% em relação ao segundo período (1984 à 2009).

Palavras-chaves: uso e ocupação, assoreamento, Sub-bacia hidrográfica do Bananal, análise multitemporal, *Spline*.

ABSTRACT

The large population growth and the consequent of the soil use and occupation reflected in numerous environmental problems such as silting of water reservoirs in watersheds. Even being the product of natural geological processes, the sedimentation can be enhanced by human activities. This study seek to evaluate the process of silting in the region of Sub-basin Bananal, tributary of Lake Paranoá using GIS techniques. Multitemporal analysis was performed of the use and occupation in the region of the basin between the years 1953 and 2009, through maps generated by satellite images and aerial photos. Was also analyzed the evolution of sedimentation through comparative analysis interpolation using the *SPLINE* model in different periods. With calculating the thickness of sediment in relation to soil use and occupation, it was possible to observe a more significant siltation in the first period (1953 to 1984), higher than 42% compared to the second period (1984 to 2009).

Keyword: use and occupation, siltation, sub-basin of Bananal, multitemporal analysis, *Spline*.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	1
1.1. Objetivos.....	3
1.2. Área de Estudo.....	4
2. USO E OCUPAÇÃO.....	7
2.1. Materiais e Métodos.....	7
2.2. Resultados e Discussões.....	11
3. ASSOREAMENTO.....	15
3.1. Materiais e Métodos.....	17
3.2. Resultados e Discussões.....	22
4. CONCLUSÃO.....	29
REFERENCIAIS BIBLIOGRÁFICOS.....	31

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: MAPA DE LOCALIZAÇÃO DA BACIA DO LAGO PARANOÁ.....	4
FIGURA 2: UNIDADE HIDROGRÁFICA DA BACIA DO PARANOÁ.....	6
FIGURA 3: ANÁLISE TEMPORAL DA VARIAÇÃO DOS VALORES EM PORCENTAGEM DE ÁREA NAS UNIDADES HIDROGRÁFICAS DO PARANOÁ	8
FIGURA 4: FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE TRABALHO DA ANÁLISE DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO BANANAL	10
FIGURA 5: EVOLUÇÃO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO NA UNIDADE HIDROGRÁFICA DO BANANAL.....	12
FIGURA 6: EVOLUÇÃO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DESTACANDO AS CLASSES DE COBERTURA VEGETAL X CLASSES DE USO ANTRÓPICO	13
FIGURA 7: MAPAS DE USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DA BACIA DO BANANAL.....	14
FIGURA 8: FLUXOGRAMA DAS ETAPAS DE TRABALHO DA ANÁLISE E DETERMINAÇÃO DO ASSOREAMENTO NA BACIA DO BANANAL	18
FIGURA 9: : MODELO DIGITAL DE SUPERFÍCIE DO LAGO PARA OS ANOS DE 1960, 1979 E 2009. (DADOS DE PROFUNDIDADE BASEADOS NA COTA DO LAGO EM ESTUDO).....	24
FIGURA 10: EXUTÓRIO DA GALERIA DE ÁGUAS PLUVIAIS PRÓXIMO À PONTE DO BRAGUETO. FONTE: AGUIAR E MENEZES (2012).....	25
FIGURA 11: EXUTÓRIO DA GALERIA DE DRENAGEM PLUVIAL PRÓXIMO A PONTE DO BRAGUETO. FONTE: AGUIAR E MENEZES (2012).....	25
FIGURA 12: MAPAS DE ESPESSURA DE SEDIMENTOS PARA OS PERÍODOS DE 1960 À 1979 E 1979 À 2009.....	28

LISTA DE TABELAS

1.

TABELA 1: QUANTIFICAÇÃO DE ÁREA URBANA NAS UNIDADES
HIDROGRÁFICAS QUE CONSTITUEM A BACIA DO LAGO PARANOÁ – DF.....8

TABELA 2: QUANTIFICAÇÃO DA TAXA DE URBANIZAÇÃO DAS UNIDADES
HIDROGRÁFICAS QUE CONSTITUEM A BACIA DO LAGO PARANOÁ, PARA OS
ANOS ANALISADOS.....8

TABELA 3: QUANTIDADE DE ÁREA EM KM² PARA CADA CLASSE DE USO NA
UNIDADE HIDROGRÁFICA DO
BANANAL.....12

TABELA 4: PORCENTAGEM DE ÁREA PARA CADA CLASSE DE USO NA UNIDADE
HIDROGRÁFICA DO BANANAL.....12

1. INTRODUÇÃO

O rápido crescimento populacional no mundo, principalmente nos países em desenvolvimento ocorre em função das atividades de desenvolvimento urbano e industrial, tem exercido impactos sobre os recursos naturais, destacando-se, dentre os mais expressivos, os processos erosivos, assoreamento e poluição de mananciais e reservatórios. Desta maneira ocorrem problemas na qualidade e quantidade de água destinada à população (Aguiar, 2011).

Estudos indicam que a demanda por água para usos múltiplos entrará em conflito com o crescente aumento populacional em consequência da diminuição e contaminação das fontes. A necessidade de garantir primariamente o abastecimento para o consumo humano, a irrigação e a produção de energia elétrica implica na preservação e armazenamento adequado deste recurso (Heller & Pádua, 2006).

O desenvolvimento das atividades humanas em uma determinada região tem influência direta sobre os recursos hídricos locais, uma vez que a retirada da vegetação para a implantação da infra-estrutura urbana e rural promove alterações no ciclo hidrológico e reduz a proteção do solo à ação erosiva dos eventos climáticos, intensificando o escoamento superficial, reduzindo a recarga subterrânea e aumentando o carreamento de sedimentos (Dias, 2011; Cruz, 2010).

A produção de sedimentos e o assoreamento que atingem rios, lagos e reservatórios são fortemente influenciados pela erosão hídrica e escoamento superficial das águas das chuvas, bem como, pelas características do transporte de sedimentos no curso d'água (Carvalho *et al.*, 2000; Tucci 2007).

Segundo Menezes, (2010), problemas de qualidade/quantidade de água são intensificados pelo desenvolvimento humano. As alterações na cobertura do solo ocasionam alterações principalmente no ciclo hidrológico, já que minimizam a parcela infiltrada, aumentando o escoamento superficial que é diretamente proporcional à produção de sedimento, causando o empobrecimento do solo e perdas por erosão, como nos cursos d'água, e causando consequências como o assoreamento.

O assoreamento de rios e riachos é sempre um assunto muito discutido na mídia e no meio acadêmico. Porém, há poucos estudos que discutem previsões de quantificação de assoreamento para uma melhor tomada de decisão e possíveis intervenções técnicas a respeito, e que busque uma solução para essa problemática (Aguiar, 2011).

Desta forma, há a necessidade de realizar estudos para um acompanhamento das alterações no ciclo hidrossedimentológico, que facilitará um planejamento eficiente, assim

evitando problemas ambientais futuros e gastos desnecessários para mitigação dos impactos causados.

De acordo com Aguiar (2011), há informações de que em torno de 16% de todo o volume inicial do Lago Paranoá já foi assoreado, trazendo consequências para a geração de energia, problemas no uso da captação da água para consumo humano, diminuição do volume útil, aumento do escoamento superficial e diminuição da infiltração com possíveis situações de inundação.

Portanto, quanto maior o volume e a taxa de escoamento superficial, maiores os riscos de degradação dos solos, arraste de sedimentos, alagamentos, destruição de estruturas urbanas, destruição de habitats aquáticos e redução da capacidade de armazenamento de reservatórios (Rauhoffer *et al.*, 2001; Sartori *et al.*, 2005), podendo acarretar em um agravamento crescente dos problemas ambientais urbanos, com destaque para a escassez de recursos hídricos e a suscetibilidade do solo à erosão.

Em usinas hidrelétricas, uma parte do reservatório é destinada ao acúmulo de sedimentos, porém a maioria apresenta a taxa de sedimentação muito elevadas, onde o reservatório chega a alcançar uma diminuição de até 5% de sua capacidade de armazenamento de água por ano, gerando custo adicional para a obra, como afirma Beasley (1972, *apud* Silva, Shultz, Camargo, 2004).

Há uma necessidade de se realizar estudos para um acompanhamento das alterações no ciclo hidrológico e hidrossedimentológico, que facilitará um planejamento eficiente, para que evite problemas ambientais futuros e gastos desnecessários para mitigação dos impactos causados. Desta forma, justificamos este estudo pela necessidade de estudar os corpos hídricos com o objetivo de aprofundar o conhecimento nestes ciclos.

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo Geral

- Avaliar o processo de assoreamento na região de contribuição da bacia do bananal para o Lago Paranoá , por meio de técnicas de geoprocessamento da análise multi-temporal de dados batimétricos e de uso do solo.

1.1.2. Objetivos Específicos

- Cálculo dos modelos digitais de terreno e batimétricos para os anos de 1960 (criação do lago), 1979 e 2009.
- Análise multi-temporal do uso e ocupação do solo na bacia.
- Cálculo estimado do assoreamento nos períodos estudados
- Cálculo estimado de espessura da camada de sedimento assoreada.

1.2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo do presente trabalho corresponde à Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá como observado na Figura 1, à única bacia integralmente localizada no território do Distrito Federal. Está localizada na região central do Distrito Federal e possui uma área de aproximadamente 1.034,07 km², correspondendo a cerca de 18% do seu território. Limita-se ao Norte com as Regiões Administrativas de Brazlândia – RA IV e de Sobradinho – RA V (Bacia do Maranhão); ao Leste, com parte da RA V e da RA VII do Paranoá (Bacia do São Bartolomeu); ao Sul, com a RA II do Gama (Bacia do Corumbá); e, a Oeste, com a RA III de Taguatinga e parte da RA IV de Brazlândia (Bacia do Descoberto) (Ferrante et al., 2001).

A bacia hidrográfica do Lago Paranoá, juntamente com as bacias hidrográficas do Rio São Bartolomeu, do Rio Descoberto, do Rio Corumbá e do Rio São Marcos, compõe a Região hidrográfica do Paraná. Essa é responsável pela maior área drenada do Distrito Federal com área aproximada de 3.658 km² e com uma descarga média de 64 m³/s. Nessa região estão localizadas todas as grandes áreas urbanas e todas as captações de água para o abastecimento público do Distrito Federal (Ferrante et al., 2001).

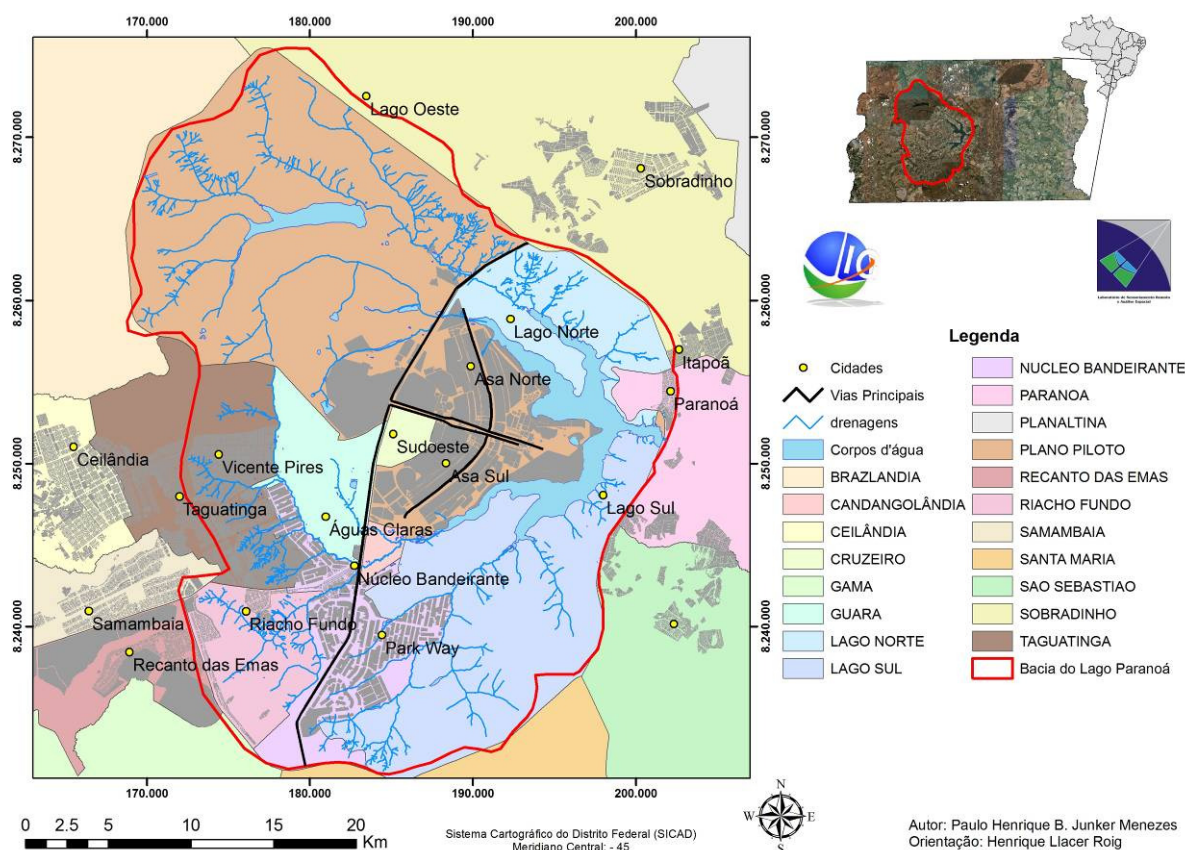


Figura 1: Mapa de localização da Bacia do Lago Paranoá. (Fonte: Menezes, 2010)

A decisão de se criar um lago artificial no local definido, implicou a cidade o compromisso de manter um determinado padrão de sustentabilidade e compromisso com o corpo hídrico, que se localiza a jusante de toda a mancha urbana do Plano Piloto. O lago, além de atuar com a função de diluidor de efluentes, abriu a possibilidades para o lazer, a geração de energia e composição paisagística de Brasília e preservação ambiental (Fonseca, 2001).

A bacia hidrográfica do Lago Paranoá é composta pelas sub-bacias do Bananal, Lago Paranoá, Riacho Fundo, Ribeirão do Gama e Santa Maria/Torto. A unidade aqui estudada é a bacia do Bananal.

Considerando os ribeirões Torto, Santa Maria e Bananal, observa-se que, embora o ribeirão Bananal tenha uma área de drenagem de aproximadamente metade das áreas de drenagem dos ribeirões Torto e Santa Maria, sua vazão média anual e de longo período é próxima das últimas. Esta feição evidencia que, em termos de produção/volume, a sub-bacia do Bananal apresenta praticamente os mesmos valores de produção/volume que a sub-bacia do Torto, de acordo com o Plano de Manejo do Parque Nacional.

A unidade do Bananal ocupa uma área de 127,74 km², e é constituída pelo ribeirão Bananal e pelo córrego Acampamento, além de outros pequenos córregos. O Ribeirão Bananal tem uma extensão de 19,1 km e deságua diretamente no Lago Paranoá, com uma vazão média é de 2,51 m³/s. Essa unidade hidrográfica está localizada, em sua quase totalidade, dentro do Parque Nacional de Brasília (Ferrante et al., 2001).

Como observado na Figura 2, a Localização da Sub-bacia Do Bananal está inserida dentro da Unidade Hidrográfica Lago Paranoá.

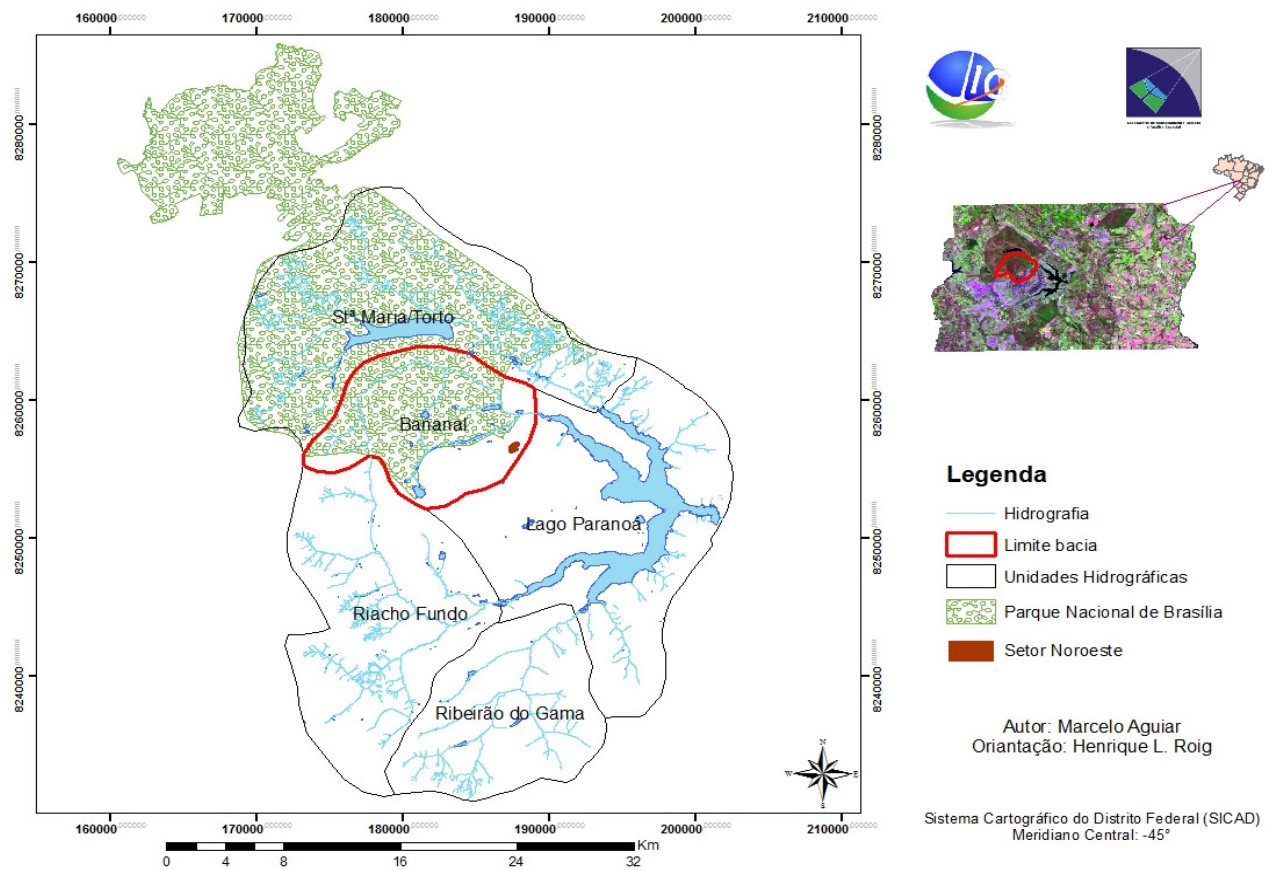


Figura 2. Unidade Hidrográfica da Bacia do Paranoá

2. USO E OCUPAÇÃO

Para a realização e desenvolvimento do presente trabalho foi necessário dividi-lo nas seguintes etapas:

- Análise do Uso e Ocupação
- Análise do Assoreamento

Apesar de Brasília ter sido fruto de um plano urbanístico rigoroso, o uso e ocupação do solo do DF nas ultimas décadas não vem ocorrendo de forma planejada. Cidades satélites nasceram de projetos urbanísticos e/ou invasões, por meio de pressões de demandas por habitação e não de um processo de planejamento, forçando, constantemente, a expansão para uso residencial (Oliva *et al*, 2001 *apud* Menezes 2010).

O trabalho foi dividido em duas etapas. Primeiro a análise de uso e ocupação do solo. Segundo, a análise dos modelos de batimetria. Posteriormente foi feito uma análise da possível relação entre os fenômenos de expansão e assoreamento do lago.

2.1. Materiais e Métodos

A base de dados vetoriais do uso e ocupação do solo utilizada neste estudo foi obtida por meio do trabalho de Menezes (2010), que utilizou as imagens de sensores remotos Landsat e AVNIR-2 (plataforma ALOS), tal como de fotos aéreas adquiridas em 1960 e 2009. Para o presente estudo, foram utilizados os dados da sub-bacia do bananal para os anos de 1964, 1984, 1988 e 2009.

O pré-processamento e preparação da base dados vetoriais foi feita com o programa *ArcGis versão ESRI 9.3*, com correções topológicas e consequentemente algumas classes de uso foram retificadas.

Foram observados problemas na base de dados do ano de 2009. Assim, foram feitas correções topológicas. Usando o *Field calculator* do *ArcGis*, observou-se uma área superior a área do limite da bacia pelo fato de haver polígonos duplicados com diferentes classes sendo analisado imagens aéreas do ano e descartado os polígonos que não coincidiam com a área do uso.

Após as correções necessárias, a base de dados foi consolidada e os mapas de uso e ocupação do solo foram elaborados. O programa *ArcGis* foi utilizado para a confecção dos mesmos.

A análise da evolução urbana na bacia foi feita de acordo com os mapas elaborados que incluiu uma análise multitemporal do uso e ocupação do solo da bacia. Esta análise foi

baseada em gráficos e tabelas gerados com o auxílio do programa *Excel* e *ArcGis*. De acordo com as Tabelas 01 e 02 é possível determinar a área ocupada por classe de uso em quilômetros quadrados e porcentagem de ocupação para cada ano analisado, e ainda visualizar na figura 3 tal evolução.

O método utilizado neste trabalho para avaliar a expansão urbana e seus possíveis impactos na bacia está descrito no fluxograma da figura 4.

Tabela 1: Quantificação de área urbana atual nas unidades hidrográficas que constituem a bacia do Lago Paranoá – DF.

Unidades Hidrográficas	Área Total (Km ²)	Área Urbana (Km ²)	Área Urbana (%)
Santa Maria/Torto	243	11	4,6
Bananal	123	10	8,2
Riacho Fundo	218	122	56,2
Ribeirão do Gama	141	41	29,1
Lago Paranoá	279	145	52

Tabela 2: Quantificação da taxa de urbanização das unidades hidrográficas que constituem a bacia do Lago Paranoá, para os anos analisados em porcentagem área..

Unidades Hidrográficas	1954	1964	1973	1984	1994	1998	2009
Torto	0	0	0	0,4	0,4	0,7	4,6
Bananal	0	0	2,3	7,4	5,9	7,7	8,2
Lago Paranoá	0	4,9	15,6	29,9	32,3	39,8	51,9
Riacho Fundo	0	2	9,6	16,5	22,8	48,1	56,2
Gama	0	0,4	1,33	21,62	23,03	23,6	29,14

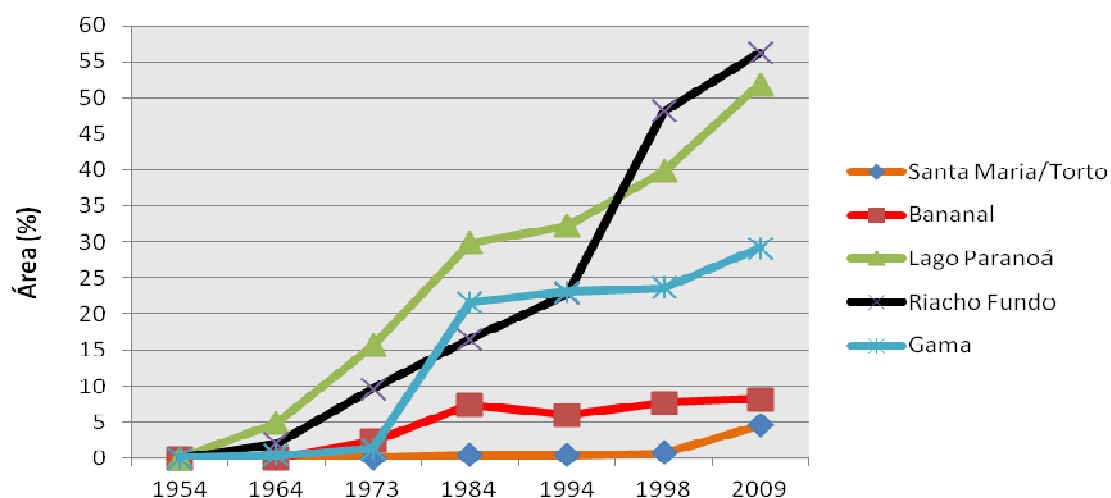


Figura 3: Análise temporal da variação dos valores em porcentagem de área nas unidades hidrográficas do Paranoá. Adaptado de (Menezes, 2010).

Fluxograma da Análise de Uso e Ocupação do Solo

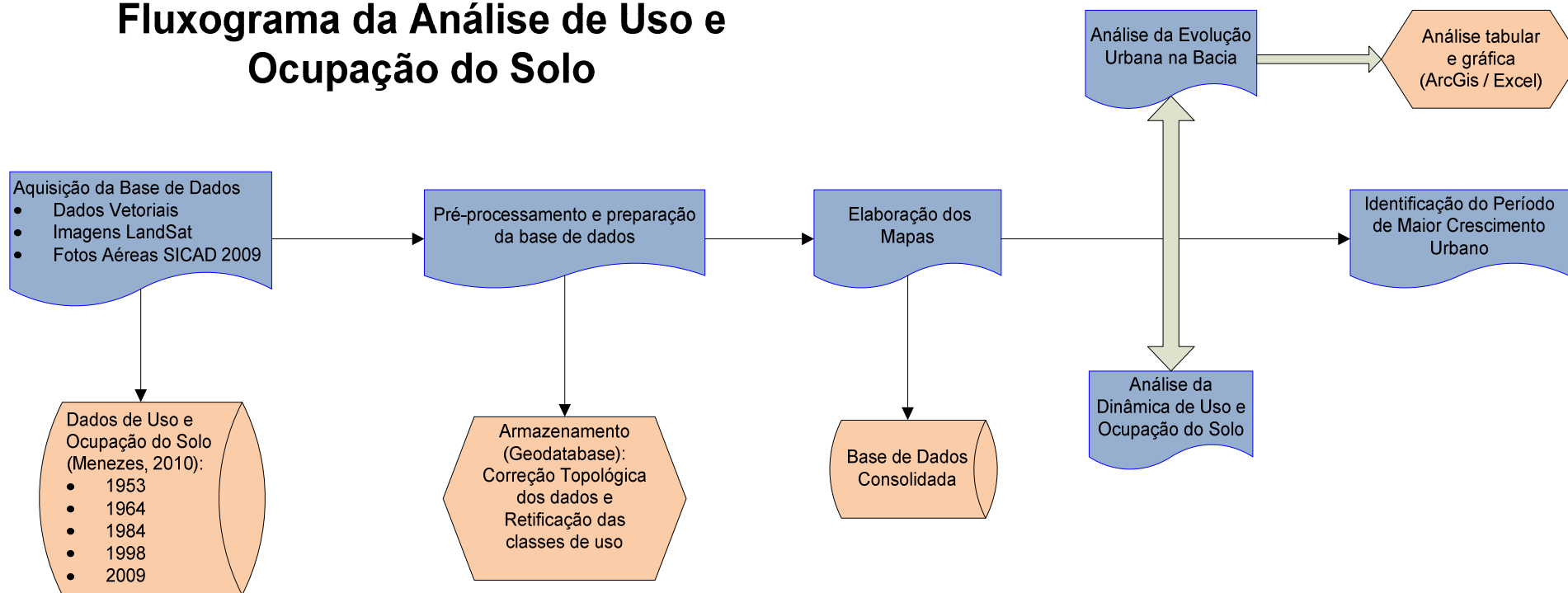


Figura 4. Fluxograma das etapas de trabalho da análise de uso e ocupação do solo na Sub-bacia hidrográfica do Bananal.

2.2. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a aquisição da base de dados e preparação da mesma, foi possível confeccionar os mapas, figuras e tabelas a seguir para dar embasamento teórico para a construção dos resultados.

Com análise da Figura 5, observa-se duas etapas distintas no crescimento ascendente da área urbana, o primeiro entre 1964 e 1984, que é diretamente proporcional ao decaimento das classes de cobertura vegetal. Este padrão é comum do que ocorre no geral, ou seja, áreas com uma urbanização expressiva e intensa modificação do solo com atividades agrícolas e supressão da vegetação.

Ainda é possível ressaltar da classe campo na primeira faixa entre os anos de 1953 e 1964, houve um crescimento que pode estar relacionado com a retirada da vegetação nativa (cerrado) para instalação do Plano Piloto, porém, não foi no mesmo momento e deu origem a vegetação de campo, que posteriormente decresceu devido às construções e impermeabilização do solo.

O segundo estágio entre 1984 e 2009, houve uma manutenção para os valores de crescimento urbano, sendo que houve uma perda de 15% de toda a sua cobertura vegetal desde o período de 1960, justificado devido ao projeto de criação do Parque Nacional de Brasília pelo Decreto Federal nº 241, em 29 de Novembro de 1961, onde a bacia está inserida na sua maioria.

Na primeira parte da figura 6, evidencia claramente o comportamento da classe cobertura vegetal inversamente proporcional em relação às classes de áreas urbanas e agrícolas, pelo fato principalmente da construção de Brasília, e a supressão da vegetação por áreas de uso antrópico.

Um aspecto de destaque na Bacia do Paranoá é o nível baixo de proteção ambiental, 45% da área da bacia está sob algum tipo de lei de proteção ambiental, sendo que essas unidades são extremamente vulneráveis à degradação (Cardoso *et al*, 2001) . Desta forma é necessário proteger as áreas já preservadas, que estas sofrem com a pressão lateral da ocupação descontrolada, com parcelamentos de solo não planejados dentro da bacia.

Resumindo os gráficos e tabelas apresentados, verificou-se que o maior período de crescimento urbano na unidade hidrográfica do Bananal foi entre os anos de 1964 a 1984, sendo que a partir deste último houve uma estabilização da urbanização. É nesse período que pode-se observar claramente a mudança do padrão de uso e ocupação do solo, devido à criação do Lago Paranoá e fixação da população dentro da bacia e suas redondezas.

Tabela 3: Quantidade de área em Km² para cada classe de uso na Unidade Hidrográfica do Bananal.

Área (Km ²)					
Classe	1953	1964	1984	1998	2009
Agricultura	0	0	2,22	4,84	7,34
Campo	22,79	26,44	22,02	19,50	31,31
Cerrado	88,76	86,19	74,78	78,47	64,17
Corpos d'Água	0	0	0,08	0	0,10
Mata de Galeria	11,84	9,80	10,10	10,13	9,50
Reflorestamento	0	0	3,19	0	0
Solo Exposto	0	0,95	1,76	0,30	1,50
Área Urbana	0	0	9,13	10,18	9,47

Tabela 4: Porcentagem de área para cada classe de uso na Unidade Hidrográfica do Bananal.

Classe	1953	1964	1984	1998	2009
Agricultura	0	0	2	4	6
Campo	18	21	18	16	25
Cerrado	72	70	61	64	52
Corpos d'Água	0	0	0	0	0
Mata de Galeria	10	8	8	8	8
Reflorestamento	0	0	3	0	0
Solo Exposto	0	1	1	0	1
Área Urbana	0	0	7	8	8
Total vegetal	100	99	89	88	85

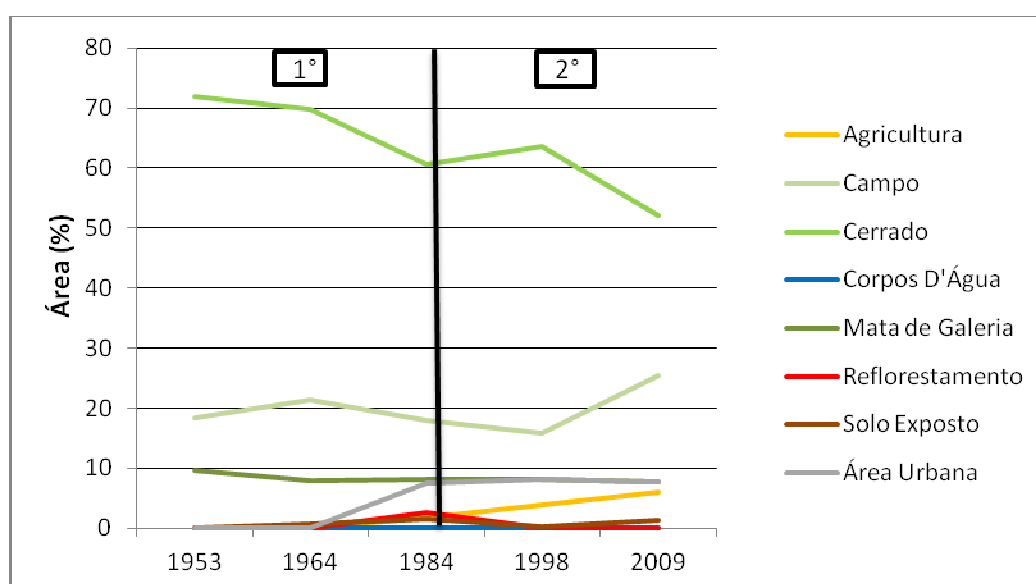


Figura 5: Evolução do uso e ocupação do solo na Unidade Hidrográfica do Bananal.

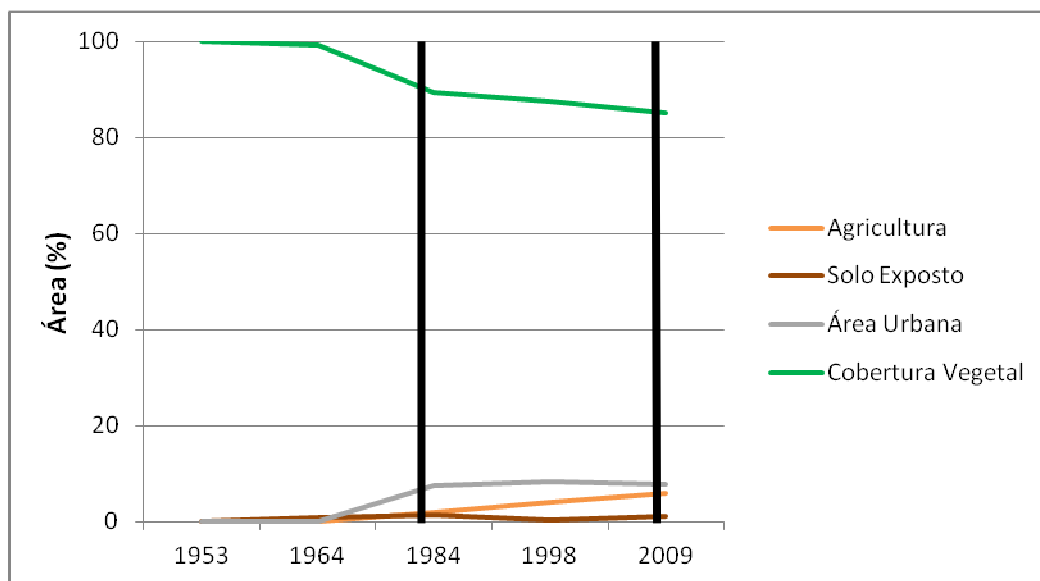


Figura 6: Evolução uso e ocupação do solo destacando as classes de cobertura vegetal x classes de uso antrópico.

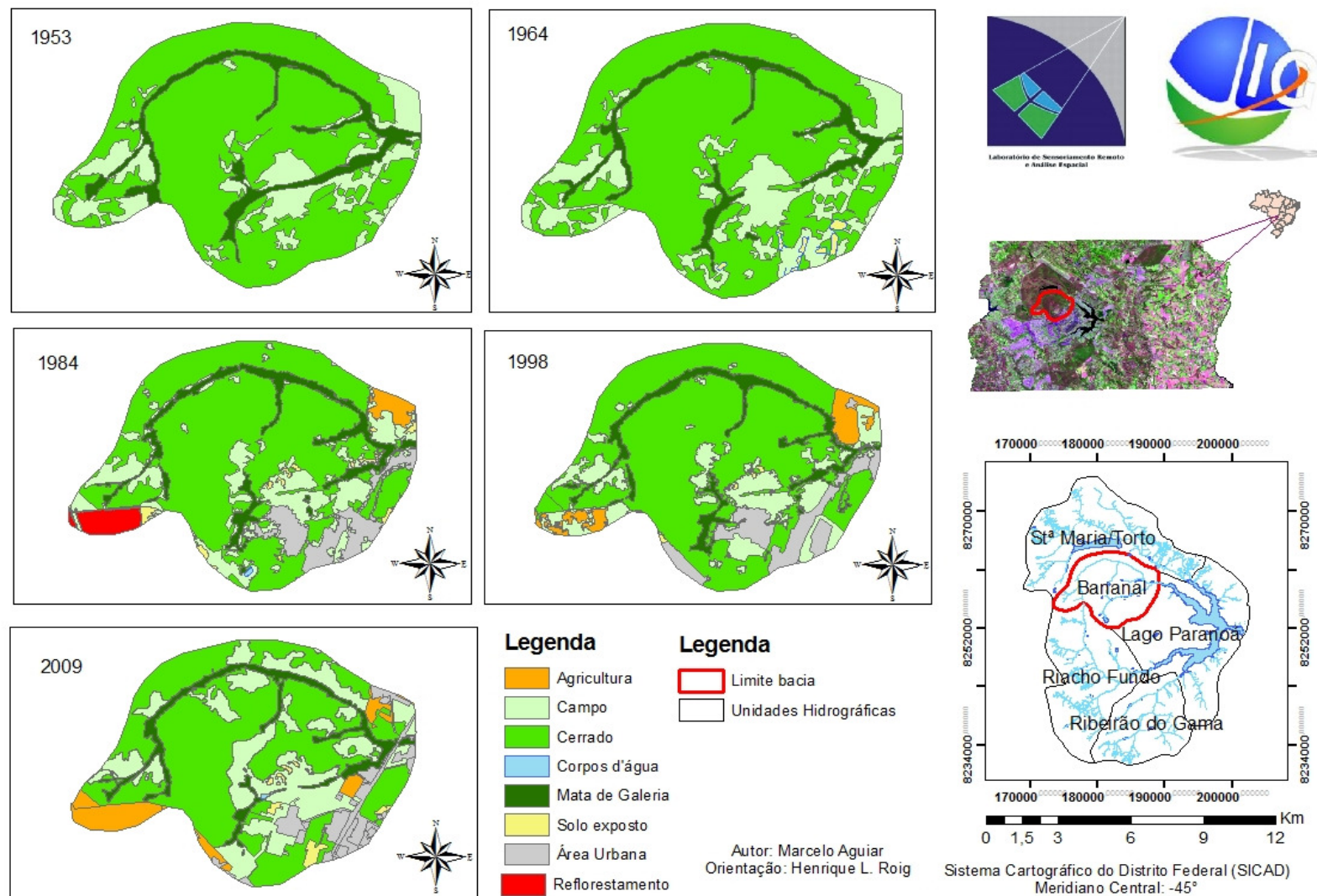


Figura 7: Mapas de Uso e Ocupação do solo da Bacia do Bananal

3. ASSOREAMENTO

Oliva et al. (2001) define assoreamento como sendo os processos naturais de redução de volume de um lago, que, entretanto, podem ser acelerados vertiginosamente pela ação do homem. A maioria dos nutrientes, sedimentos e matéria orgânica que afluem para um lago urbano são provenientes dos distúrbios ambientais causados pela ocupação humana na bacia. Portanto, a garantia da qualidade das suas águas e do seu tempo de vida está diretamente ligada à capacidade de a sociedade gerenciar o uso e a ocupação do solo da área de contribuição.

As principais causas do assoreamento de rios, ribeirões e córregos, lagos, lagoas e nascentes estão relacionadas aos desmatamentos, tanto das matas ciliares quanto das demais coberturas vegetais que, naturalmente, protegem os solos. A exposição dos solos para práticas agrícolas, exploração agropecuária, mineração ou para ocupações urbanas, em geral acompanhadas de movimentação de terra e da impermeabilização do solo, abrem caminho para os processos erosivos e para o transporte de materiais orgânicos e inorgânicos, que são drenados até o depósito final nos leitos dos cursos d'água e dos lagos (Netto, 2001).

A sedimentação em corpos d'água é uma das principais e mais sérias consequências do processo da erosão, segundo Marten (1995, apud Silva; Shultz; Carvalho, 2004).

Guimarães (2011) discorre que:

Os sedimentos são materiais erodidos e que apresentam grande facilidade de transporte e deposição. O transporte dos sedimentos é um processo natural que faz parte da evolução da paisagem, ocorre sempre em um meio fluido e é fruto da combinação de duas variáveis: fornecimento de material e energia de fluxo. A medição do transporte de sedimentos permite determinar a descarga sólida de um corpo hídrico, ou seja, é possível determinar a quantidade de segmentos que passa em uma seção transversal por uma unidade de tempo.

O processo erosivo constitui-se de três fases: desagregação, transporte e sedimentação. Inicia-se pela desagregação da estrutura do solo, com o impacto da gota de chuva que, após atingir a capacidade de saturação do solo, inicia o escoamento superficial, provocando o transporte e, após a perda da energia cinética da enxurrada a sedimentação das partículas sólidas, o que provoca não apenas a perda de solos, mas também a diminuição da fertilidade, o assoreamento e a poluição dos mananciais segundo (Macedo, 2004, apud Guimarães, 2011).

O assoreamento provoca o aterramento gradual dos mananciais, com a redução da capacidade de fornecer água para seus diversos usos e aumentando a turbidez da água, ocasionando a diminuição da penetração da luz solar (Chistofolletti, 1981).

De acordo com Netto, (2001), os desmatamentos ocorridos, não só na orla do lago, mas ao longo das margens dos córregos e ribeirões tributários do Lago Paranoá, vêm destruindo os antigos corredores ecológicos, verdadeiras reservas de biodiversidade, além de provocarem erosões e assoreamento dos cursos d'água e do próprio lago. Para o autor, as principais causas do assoreamento de rios, ribeirões e córregos, lagos, lagoas e nascentes estão relacionadas aos desmatamentos, tanto das matas ciliares quanto das demais coberturas vegetais que, naturalmente, protegem os solos. A exposição dos solos para práticas agrícolas, exploração agropecuária, mineração ou para ocupações urbanas, em geral acompanhadas de movimentação de terra e da impermeabilização do solo, abrem caminho para os processos erosivos e para o transporte de materiais orgânicos e inorgânicos, que são drenados até o depósito final nos leitos dos cursos d'água e dos lagos.

Segundo (Macêdo 2009, apud Menezes 2010) a medição do assoreamento de um reservatório pode ser feita por meio de análise de levantamentos geofísicos, e da interpretação e processamento de imagens de satélite de alta resolução e de foto aérea, com o emprego de técnicas de geoprocessamento. Sistemas de Informação Geográfica (SIG) são particularmente úteis para tratar dados heterogêneos como cartas topográficas, cartas de solo, de cobertura vegetal, uso da terra, dados meteorológicos e etc. Embora a natureza e escalas diferentes, estas cartas complementares com outras informações permitem estimar o valor quantitativo do acúmulo de sedimento ao longo dos anos (Filho *et al*, 2003 apud Dias 2011).

Para gerar superfícies que se aproximem do fenômeno estudado de forma realista, é necessário modelar a variação espacial e temporal deste fenômeno.

Para esta representação da superfície da terra, podemos utilizar Modelos Digitais de Terreno – MDT. Ele é uma representação matemática da distribuição contínua do relevo dentro de um espaço de referência, armazenada em formato digital adequado para utilização em computadores. O MDT têm sido a forma mais utilizada para representação das características físicas de uma superfície em aplicações de SIG (Menezes et al, 2012).

Neste trabalho serão apresentados os modelos elaborados sobre a superfície aquática do Lago Paranoá, assim, permitindo uma análise da variação temporal deste fenômeno.

3.1. Materiais e Métodos

A análise do assoreamento foi feita pela comparação matemática de subtração matricial entre os modelos de superfície da região de remanso do braço do Bananal. Para este trabalho foram realizadas as seguintes etapas e descritas a seguir e organizadas no fluxograma na figura 8:

- I. A aquisição da base de dados: Levantamentos batimétricos foram feitos com relação a situação do lago na data em que foram realizados nos seguintes anos: (1960, 1979 e 2009):
1960 – DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), cota: 1.000 metros e escala de 1:25.000;
1979 - DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), cota: 999,5 metros e escala de 1:10.000;
2009 – Levantamentos batimétricos realizados previamente pelo IG/UnB. Cota: 1.000 metros de escala de mapeamento de até 1:2.000.
- II. O pré-processamento e preparação da base de dados: As cartas batimétricas foram georreferenciadas e reprojetadas para a base SICAD (Sistema Cartográfico do Distrito Federal), foram feitas vetorizações das cartas batimétricas para os anos de 1960 e 1979, Posteriormente foi utilizado o programa *ArcGis* para correções topológicas. Foi criado um banco de dados para armazenamento e organização dos dados utilizando o *ArcCatalog*.
- III. Para o processamento dos dados foi gerado um Modelo Digital de Terreno – MDT, pelo interpolador *SPLINE*, com as ferramentas do *Spatial Analyst*, para gerar superfícies que se aproxime do fenômeno estudado de forma mais próxima do real. Foram utilizados arquivos no formato shape file batimétricos e os limites do lago Paranoá dos anos de (1960, 1979 e 2009) com saída de célula de 5 metros.
- IV. Mapa de espessura das camadas de sedimentos – Para realização deste procedimento foi feito a subtração matricial dos modelos. A realização deste procedimento por meio da subtração matricial dos modelos. Os períodos calculados foram: 1960-1979 e 1979-2009.
- V. Definição do período de maior alteração.

Fluxograma para Determinação do Assoreamento

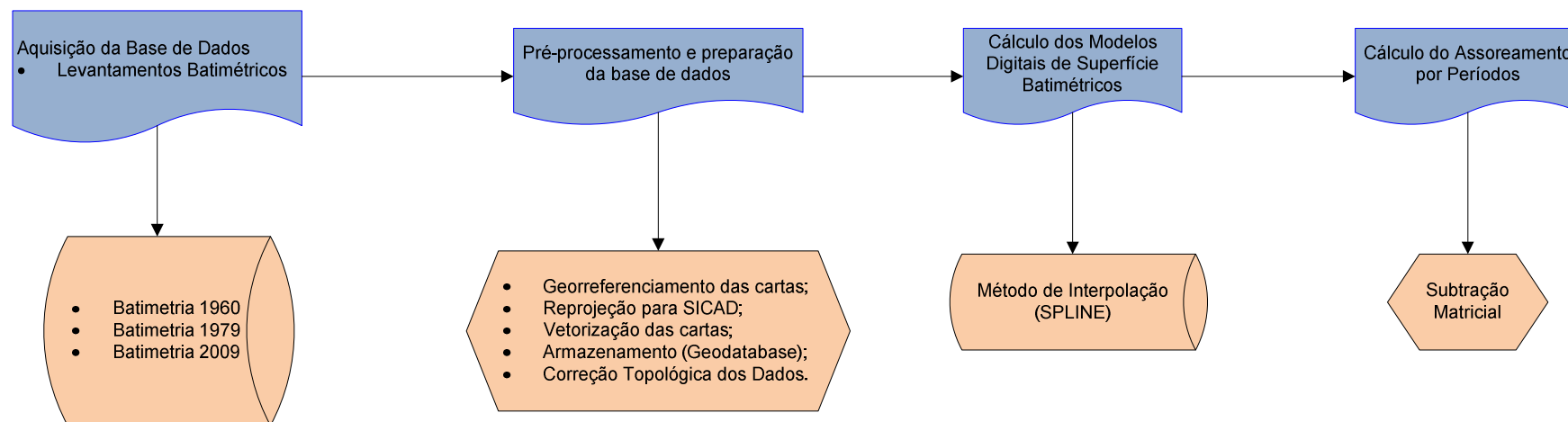


Figura 8. Fluxograma das etapas de trabalho da análise e determinação do assoreamento na Bacia do Bananal.

A aquisição dos dados foram feita por meio de projetos de pesquisa aprovados pelo Instituto de Geociências – IG/UnB, são estes:

- Avaliação do efeito de ações antrópicas na dinâmica hidrossedimentológica e no suprimento de água do DF visando o desenvolvimento sustentável, coordenado pelos Professores Drs. Paulo Roberto Menezes e Henrique Llacer Roig.
- Caracterização morfológica e estratigráfica do Lago Paranoá, coordenado pelos Professores Drs. Augusto Cesar Bittencourt Pires e Marco Ianniruberto.

A preparação da base de dados foi feita, assim como os dados de uso, utilizando-se as ferramentas de edição, controle e armazenamento do ArcGis.

Os dados utilizados foram adquiridos de diferentes fontes e formas de aquisição, com relação a tecnologia da época, de acordo com a fase I do cronograma abaixo. Para a confecção da topografia do Lago Paranoá, foi utilizado o limite do lago de cada ano e subtraído pela cota batimétrica de cada ano.

Para os anos de 1960 e 1979, os dados foram adquiridos pela DHN (Diretoria de Hidrografia e Navegação), com cotas batimétricas de referência do lago de 1000 e 999,5 metros respectivamente.

Os dados de 2009 foram considerados os mais completos para o processamento dos modelos. Com o levantamento realizado pelo IG/UnB os dados utilizados foram os de cota batimétrica (Grid com espaçamento de 10m x 10m) e o limite do lago com cota de referência 1000 metros.

Para gerar um MDT é necessária a escolha de um método de interpolação dos dados a serem estudados. Interpolação espacial é utilizada para encontrar valores de uma sucessão entre valores consecutivos conhecidos, é uma técnica utilizada para estimativa do valor de um atributo em locais não amostrados a partir de pontos amostrados na mesma área ou região. (Boscatto *et al*, 2007, *apud* Dias, 2011).

Para obtenção de um MDT de qualidade é fundamental que os dados sejam confiáveis, a fim de representar de forma realista o terreno amostrado. O MDT pode ser elaborado, basicamente, por meio de grades regulares retangulares (GRID) ou redes irregulares triangulares (TIN) geradas a partir de pontos 3D (x, y, z) na forma de variações contínuas de relevo (Pinto *et al*, 2004, *apud* Dias, 2011).

Para a realização deste trabalho foi escolhido o modelo interpolador *spline*, pois este independe da distribuição dos dados, sendo que a base de dados apresenta escalas diferentes como descrito por Pavão (2010):

O nome *spline*, deriva de uma ferramenta flexível de desenho técnico, o método não utiliza apenas um polinômio de grande ordem para interpolação de todo conjunto de dados, mas divide a série de dados em subconjuntos e utiliza diversos polinômios de menor grau para cada subconjunto. A *spline* cúbica é a mais utilizada (Emerye Thompson, 1997, apud Pavão, 2010). O método é classificado como suavizador e ao mesmo tempo tenta honrar ao máximo os dados. No processo são efetuados cálculos de derivação repetidamente até que seja alcançada uma diferença (convergência ou tolerância) entre os valores amostrados e os estimados, especificada pelo usuário, ou até que um número máximo de interações seja alcançado.

De acordo com Pavão (2010), pode-se destacar como vantagens na utilização do método Spline os seguintes tópicos:

- A superfície estimada é independente da distribuição dos dados e da presença de ruído (*noise*);
- A superfície estimada é a mais suave entre as geradas pelos outros métodos que ajustam superfícies a dados amostrados;
- A superfície é absolutamente fiel aos dados originais se houver apenas um valor amostrado por célula;
- Capaz de estimar valores superiores ou inferiores aos dados amostrados

Em contrapartida pode-se destacar como desvantagens na utilização do método Spline os seguintes tópicos:

- A superfície suave é gerada, quer realmente exista ou não;
- Havendo dados próximos às bordas pode haver geração de depressões ou picos nas bordas do mapa;
- Formas estranhas (artefatos) podem surgir no centro das células que não contém pontos amostrados.

Para a obtenção do Spline (figura 9), foram utilizados cotas batimétricas e o limite do lago. Em cada escala foi definido um tamanho de célula de saída de 2 metros, determinada de acordo com os padrões de exatidão cartográfica (PEC Planialtimétrico -0,2mm). Para os dados de limite do lago, foi feito um processamento para transformar para ponto, pois o interpolador só admite dados de pontos de entrada no modelo. Foi utilizada a ferramenta para

quebrar em várias linhas *Data Management > Features > Split Line At Vertices* e posteriormente transformado em ponto com *feature to point* pelo programa *ArcGis*.

Para a confecção da espessura da camada assoreada da (figura 12), foi utilizada a ferramenta *Spatial Analyst > Raster Calculator* e os dois períodos foram selecionados para subtração matricial: 1979-1960 e 2009-1979. Os dois novos modelos gerados foram obtidos pela variação encontrada na subtração dos valores das cotas respectivas para cada ano.

3.2. Resultados e Discussões

A formação de reservatórios normalmente modifica as condições naturais do curso d'água em relação ao aspecto sedimentológico, provocando a deposição gradual dos sedimentos, ocasionando o assoreamento e diminuindo gradativamente a capacidade de armazenamento do reservatório, podendo vir a ocasionar problemas ambientais de diversas naturezas (Carvalho, 2000).

A Figura 9 demonstra todos os modelos de superfície calculados, auxilia na visualização e análise da evolução multitemporal do lago. Para os dados de batimetria que representam a profundidade do lago, geralmente é baseado por cota, número que expressa a altitude positiva ou negativa de um ponto ou uma curva ao nível de referência, como o nível do mar. Porém neste estudo, a referência é o nível de referência do lago para cada ano. Nesta figura podemos observar a alteração do limite do lago e o recuo de suas margens ao longo dos anos

Ainda com análise na figura 9, no modelo gerado para o ano de 1960, um dado que se observa é o limite extrapolado do lago para os outros anos principalmente no exultório do córrego Bananal próximo a ponte do Bragueto de acordo com a Figura 9, pois neste ano ainda não havia sido construído a ponte.

Em 1979, a perda do realce das cores fica bem claro na figura, devido ao fato de que a sedimentação mais grosseira depositada em reservatórios geralmente é maior nas regiões do exultório das drenagens, chamados também de zonas de remanso. Onde havia profundidades maiores em 1960, já fica bem clara a amortização destas depressões pelo assoreamento gradativo do corpo hídrico.

Já no ano de 2009, não há evidência de Córrego antes da ponte do Bragueto, com limites muito próximos a sua cota e seu limite mais afunilado com relação as cores mais claras observadas no mapa.

A faixa de assoreamento mais expressiva fica na zona de remanso, sendo que não é a fração mais escura nos mapas, como observado na figura 9, isso pode ser explicado por erros nas bordas dos modelos. No primeiro modelo de 1960 à 1979, demonstra que há um assoreamento mais afastado da entrada do seu tributário, fato que não acontece na realidade, pois, de acordo com Carvalho (2000), os sedimentos carregados pelo rio para dentro do reservatório são distribuídos uniformemente, as partículas maiores como pedregulhos e areias

grossas, são as primeiras a se depositar, enquanto os sedimentos mais finos adentram ao reservatório, desta forma é inviável fazer esta análise com o modelo por completo.

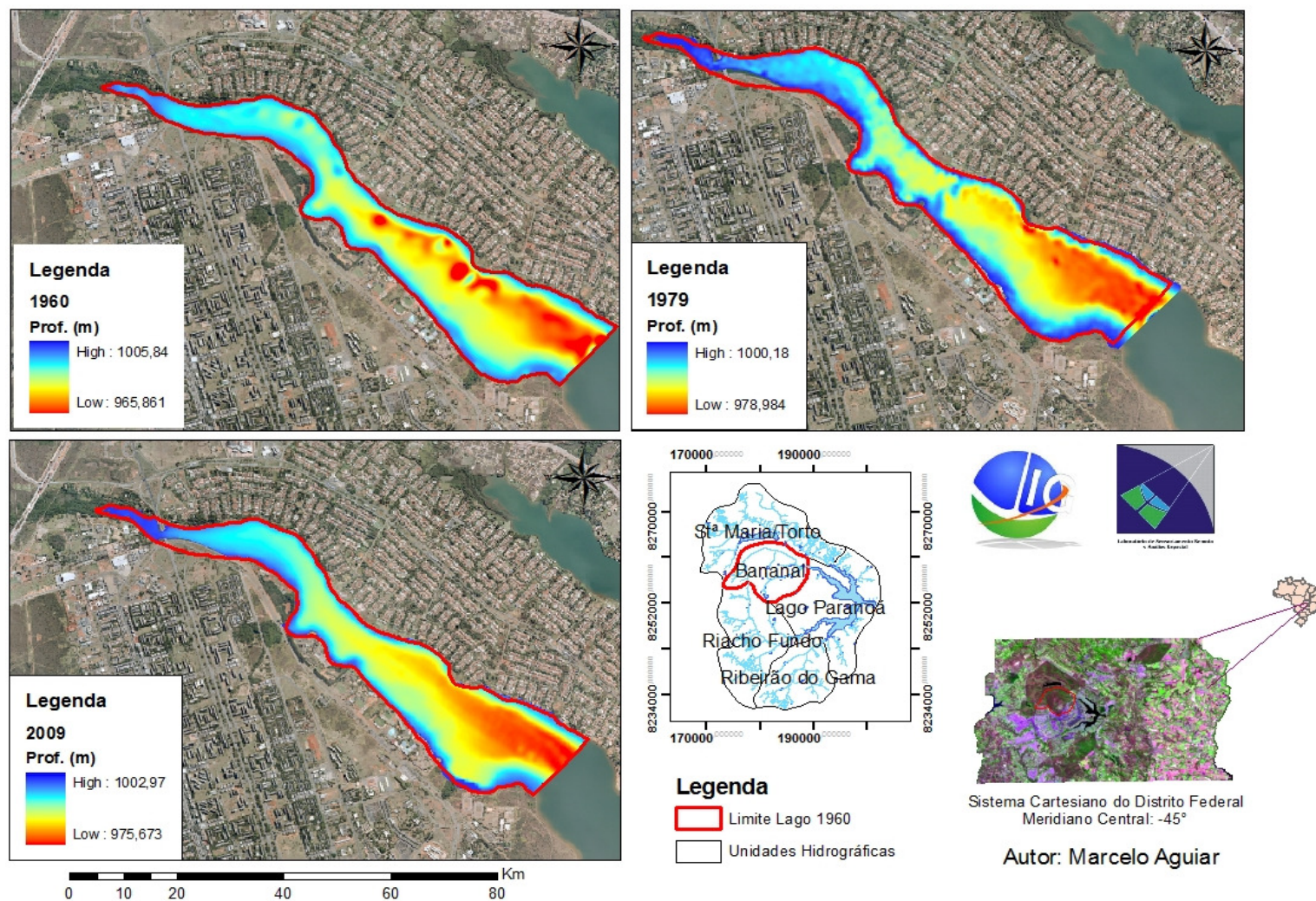


Figura 9: Modelo Digital de Superfície do Lago para os anos de 1960, 1979 e 2009. (Dados de profundidade baseados na cota do lago em estudo).

As figuras 10 e 11, ilustram as edificações que amortizam o carreamento de sedimento pelas águas pluviais como bacias de retenção, por exemplo, mas ainda assim, não conseguem reduzir a quantidade de sedimento que chega ao Lago.



Figura 10. Exutório da galeria de águas pluviais próximo à ponte do Bragueto. Fonte: Aguiar e Menezes (2012).



Figura 11: Exutório da galeria de águas pluviais próximo à ponte do Bragueto. Fonte: Aguiar e Menezes (2012).

A grande problemática da causa do assoreamento é a expansão urbana, pois está crescendo ascendentemente em níveis alarmantes, é necessário obedecer a uma padronização de expansão, pois o sistema criado há alguns anos já não conseguem minimizar os impactos

ambientais que ocorrem nos dias de hoje. Assim como dizia o grande arquiteto Oscar Niemeyer, “há uma hora em que a cidade tem que parar de crescer para preservar o cinturão verde a sua volta. Copiar o mesmo sistema e introduzir em outras”.

Na figura 12 é observado os mapas de espessura de sedimentos para os períodos de 1960 à 1979 e 1979 à 2009. Nesses mapas podemos avaliar o acúmulo de sedimento no lago ao longo do tempo.

Fazendo uma análise da figura 12, nos dois mapas a taxa de maior sedimentação situam-se em tons mais escuros, e as faixas com tons mais claros levaria a interpretação de desassoreamento ou dragagem do reservatório.

Ao analisar os mapas por completo, é observado que nos primeiros 20 anos (1960 à 1979), houve um maior assoreamento pela espessura calculada do sedimento assoreado no modelo, de 17 metros, enquanto na segunda fase, nos últimos 30 anos (1979 à 2009), a espessura calculada de sedimento assoreado se apresenta significativamente menor, de 12 metros.

Esse erro pode ser explicado por ter sido gerado com diferentes escalas batimétricas, diferentes tecnologias de aquisição e condicionamento do dado, sistemas cartográficos diferenciados de aquisição e posicionamento e sobreposição dos dados.

E de grande validade essa discussão das problemáticas dos modelos, pois, estes tentam representar a realidade, mas às vezes não é possível demonstrar por completo, como a figura 12, que a parte confiável do dado situa-se na área de entrada do corpo hídrico no reservatório e quando observado o valor do *pixel*, este é positivo ocasionando possível assoreamento. Sabe-se também que o assoreamento é uma causa natural, mas com o aumento populacional este se intensifica com efeito exponencial e perigoso.

Assim, chama a atenção a criação do Setor Noroeste, como destaca Menezes, (2010), que a bacia do bananal merece destaque especial, devido ao início da construção do Noroeste, que se encontra atualmente com inúmeras áreas com solo exposto e pilhas de aterros desagregados prontos para ser carreados, assim aumentando o escoamento superficial, processos erosivos, geração e transporte de sedimentos até o Lago ocasionando fortes impactos ambientais.

Há informações que a Companhia de Abastecimento de Água Ambiental de Brasília – CAESB têm grande intuito de captar água para consumo humano do Lago Paranoá, e já estão elaborando o seu Estudo de Impacto Ambiental – EIA/RIMA, para se licenciar. Assim, é de suma importância a preservação dos recursos hídricos e elaboração de meios que minimize

esta ocupação desordenada que ocorre no Distrito Federal, tanto para os governantes quanto para a população. Pois, assim é minimização de gastos de verbas públicas para purificação de água e problemáticas de quantidade, bem como, geração de energia.

Como demonstram as figuras 9, 10, 11 e 12, é observado que o assoreamento do Lago Paranoá na bacia estudada é um processo gradativo e preocupante, desta forma, vale salientar que é necessário a preservação destes afluentes, buscando tentar minimizar as fontes de geração de sedimento que chegam a bacia, pois o Córrego Bananal é um tributário importante para o abastecimento do Lago, pois de acordo com o Plano de Manejo do Parque Nacional, o Córrego do Bananal obtém a metade da metragem do Córrego de Santa Maria/Torto e quase a mesma vazão líquida no exutório do Lago Paranoá, evidenciando assim a sua importância para o abastecimento do Lago.

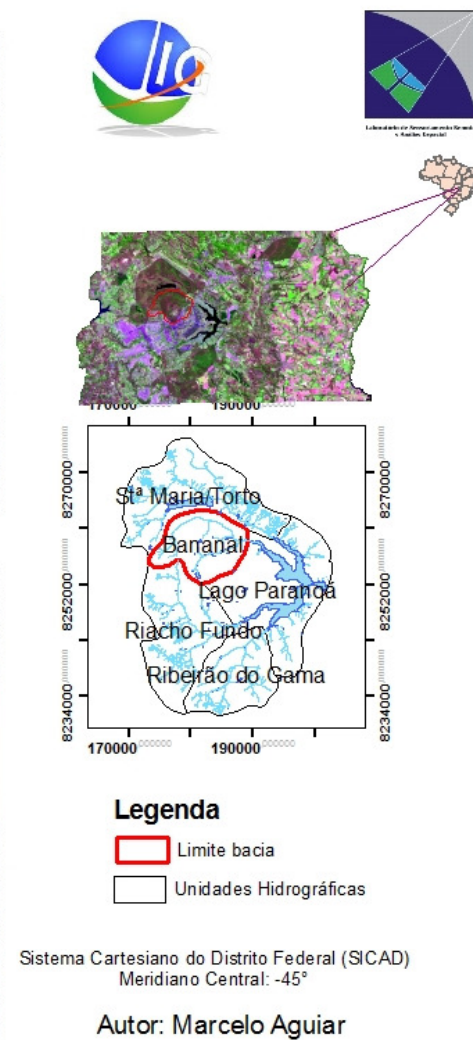
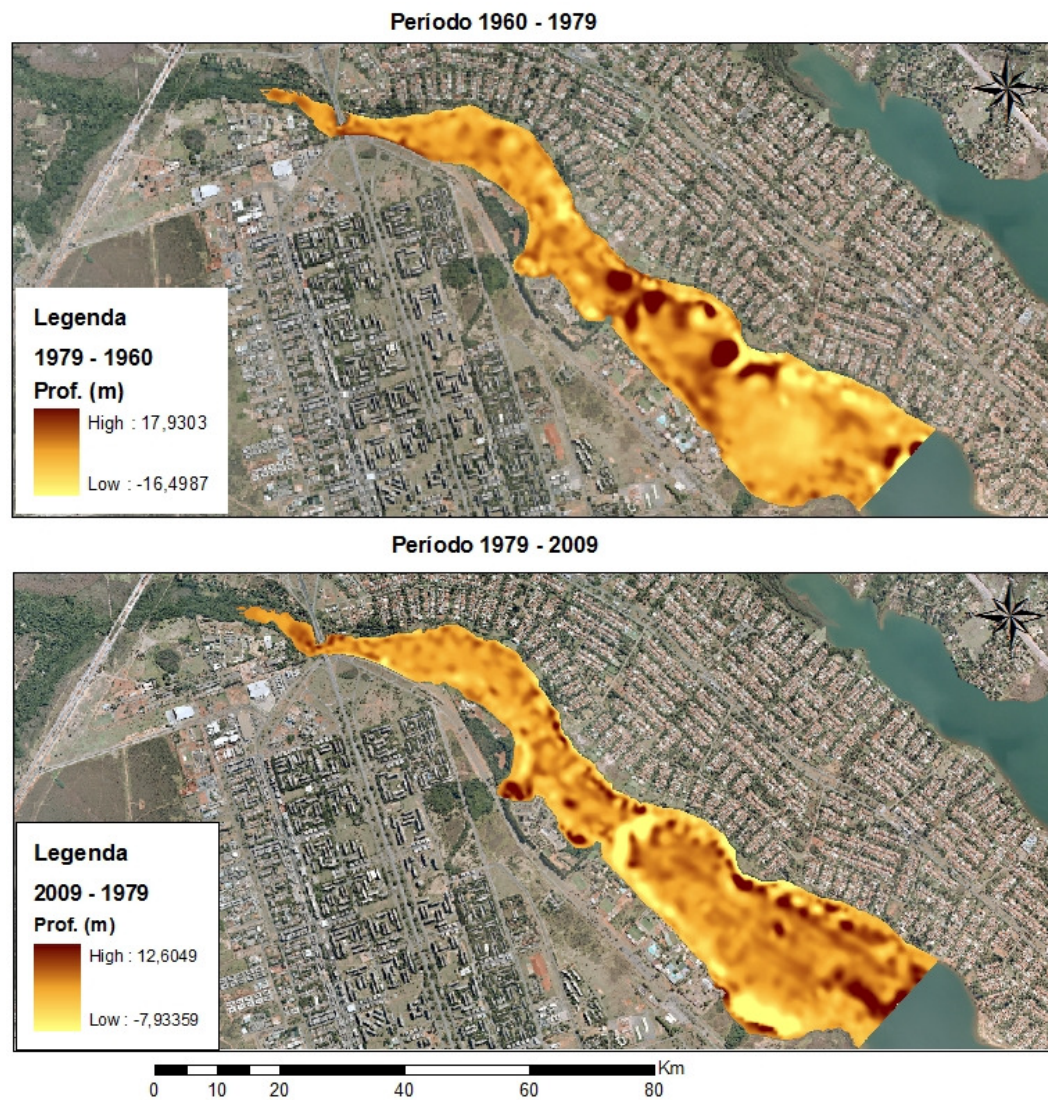


Figura 12: Mapas de espessura de sedimentos para os períodos de 1960 à 1979 e 1979 à 2009.

4. CONCLUSÃO

Como proposto por este trabalho, o método utilizado permitiu identificar como evoluiu a ocupação urbana, dentro da Sub-bacia e quais foram os períodos em que essa expansão ocorreu e relacionar com o período de maior alteração da evolução do assoreamento. Assim pôde-se concluir que:

- Em relação ao uso e ocupação do solo houve uma grande ocupação inicial da sua área até 1984, mas posteriormente com a criação da Unidade de Conservação Integrada do Parque Nacional esta ocupação manteve-se uniforme, dando brechas para a vegetação.
- O assoreamento foi dividido em duas etapas na análise espessura da camada assoreada:

1960 à 1979 (20 anos) ;

1979 à 2009 (30 anos);

Foi possível observar um assoreamento mais significativo na primeira etapa (1960 a 1979), superior a 42%, em relação a segunda (1979 a 2009).

Desta forma, foi observada uma relação direta entre as duas variáveis, o uso e ocupação do solo com a análise do assoreamento, sendo que foram observadas tendências parecidas de crescimento das classes urbanas no primeiro período, assim como um acúmulo maior de sedimento neste primeiro período.

A respeito da técnica utilizada, obtêm algumas problemáticas, como o uso de diferentes escalas batimétricas, assim gerando somente uma estimativa da realidade, sendo que não constata o volume assoreado. Diferentes tecnologias de aquisição e comparação de dados, os sistemas cartográficos e de posicionamento diferenciados entre as diversas datas, proporcionando problemas e dificuldades para sobrepor informações.

Enfim, há um *déficit* na qualidade dos dados obtidos para utilização dos dados em suas escalas de origem. A menor escala trabalhada foi de 1:25.000 nos pontos batimétricos do ano de 1960, assim recomenda-se a utilização nesta escala e menores, pois será executado de forma mais realista.

É recomendável a análise periódica anual da taxa de assoreamento, pois esta taxa é o cálculo mais próximo da realidade para o cálculo temporal do mesmo.

Apesar das limitações desse estudo, pode-se obter êxito na comparação do crescimento populacional com a quantificação do assoreamento, assim, acredita-se ter contribuído para uma melhor compreensão do tema pesquisado. Aos pesquisadores futuros sugere-se que, continue este tipo de análise para um melhor entendimento da evolução do assoreamento e do

uso e ocupação e suas relações. Investimentos e ajuda financeira para estudos nessa área também são imprescindíveis.

5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGUIAR, M. R. F., RESENDE, M. G.. **Estudo dos Processos de Hidrossedimentologia do Córrego Cabeça de Viado, Tributário do Lago Paranoá, Brasília – DF** 2011. P. 26

CARVALHO, N.O.; FILIZOLA JUNIOR, N.P.; SANTOS, P.M.C.; LIMA, J.E.F.W. **Guia de Avaliação de Assoreamento de Reservatórios**. Brasília. Aneel. 2000. 140p.

Convênio Ibama – Funatura., **Plano de Manejo do Parque Nacional de Brasília**. Disponível em: <http://www.icmbio.gov.br/portal/images/stories/imgs-unidades-coservacao/parna%20brasil.pdf>. Visitado em: 27/11/2012.

CARDOSO, E. S.; FONSECA, F. O; SANTOS, R. M. D. B., 2001. “**Vulnerabilidade das Áreas Protegidas. Olhares Sobre o Lago Paranoá**”. Brasília, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos.pág. 228-243.

CHRISTOFOLETTI, A. **Geomorfologia Fluvial**. São Paulo: e. Blucher, 1981. 313p. V.1: O Canal Fluvial.

DIAS, R. T;.. MENEZES, p., h., b. J. **Estudo do Assoreamento e sua Relação com a Ação Antrópica Utilizando Técnicas de Geoprocessamento: Lago Paranoá – Braço Riacho Fundo – DF**, P. 35 . Monografia (Especialização) - Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial.

DIAS, L. T.. **Modelagem Dinâmica Espacial do Uso e Ocupação do Solo na Bacia Hidrográfica do Lago Paranoá – DF: 1998-2020**. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas. P.144. Universidade de Brasília, Brasília – DF.

FERRANTE, J. E. T.; RANCAN, L.; NETTO, p. B. Meio físico. In: Fonseca, F. O. (org). **Olhares Sobre o Lago Paranoá**. 1ª edição. Brasília. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, 2001. P.45-80.

FONSECA, F. O. **Olhares Sobre o Lago Paranoá**. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH, Brasília-DF. (2001). 425 p.

GUIMARAES, M; RESENDE, M. G. **Estudo dos Processos de Hidrossedimentologia do Exutório do Riacho Fundo no Lago Paranoá, Distrito Federal**. Dissertação (mestrado em planejamento e gestão ambiental) 75p. Universidade Católica De Brasília, Brasília-DF, 2011.

HELLER, L.; PÁDUA, W. L. De. **Abastecimento de Água para Consumo Humano**. Belo Horizonte: UFMG, 2006. 859p.

MENEZES, P.H.B.J; ROIG, H.L; IANNIRUBERTO, M. **Avaliação do Efeito das Ações Antrópicas no Processo de Escoamento Superficial e Assoreamento na Bacia do Lago Paranoá**. 133p. Dissertação (Mestrado em Geociências Aplicadas). Instituto de Geociências da Universidade de Brasília, Brasília-DF, 2010.

OLIVA, A. Q.; CAVALCANTE, C. V.; FONSECA, F. O.; NETTO, P. B.; OGLIARI, T. C. **Uso e Ocupação do Solo. In: Olhares Sobre o Lago Paranoá**. Brasília, Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos, 2001. P.213-272.

PAVÃO, C. G.. ROIG, H. L.. **Avaliação de Metodologias de Interpolação para Dados de Espessura Crustal do Brasil**. 74 páginas. Monografia (Especialização) - Instituto de Geociências da Universidade de Brasília. Laboratório de Sensoriamento Remoto e Análise Espacial.

RAUHOFFER, J.; JARRET, A.R.; SHANNON, R.D. **Effectiveness Of Sedimentations Basins That Do Not Totally Impound A Runoff Event**. Transactions of the Asae, v.44, n.4, p.813- 818, 2001.

SILVA, A.M.; SHULZ, H.; CAMARGO, P.B. **Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas**. São Carlos. 2003, 2004. 140p.